



Revista de la Construcción

ISSN: 0717-7925

revistadelaconstruccion@uc.cl

Pontificia Universidad Católica de Chile
Chile

NAVARRETE, B.; GIANI, R.; HUINOLPAN, F.

Ábacos para la evaluación del riesgo de fisuración en losas de hormigón armado

Revista de la Construcción, vol. 11, núm. 3, diciembre, 2012, pp. 32-48

Pontificia Universidad Católica de Chile

Santiago, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=127628821004>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

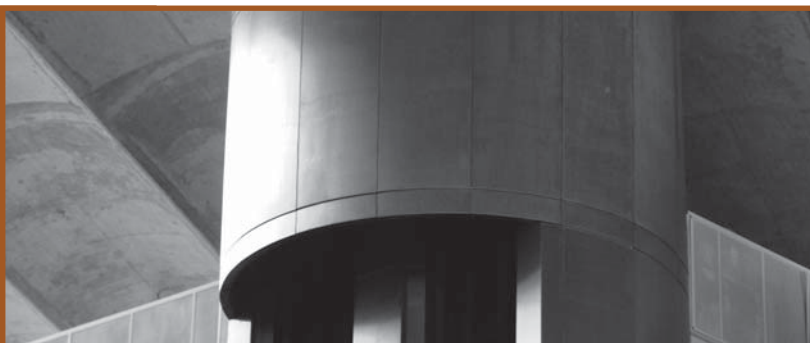
Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

*Abaci for risk assessment
of cracking in reinforced
concrete slabs*

Ábacos para la evaluación del riesgo de fisuración en losas de hormigón armado



Autores

NAVARRETE, B. Pontificia Universidad Católica de Chile
bnava@uc.cl
Santiago, Chile

GIANI, R. Pontificia Universidad Católica de Chile
rgiani@uc.cl
Santiago, Chile

HUINOLPAN, F. JRI Ingeniería
fhuinolpan@jri.cl
Santiago, Chile

Fecha de recepción 16/06/2012

Fecha de aceptación 27/11/2012

Resumen

Las estructuras de hormigón armado se encuentran sometidas a estados tensionales producidos tanto por acciones externas como internas. Entre las primeras es posible mencionar las cargas de operación y otras como las producidas por los sismos o acciones del medio ambiente, como viento o nieve. Entre las acciones internas se pueden mencionar las producidas por retracción hidráulica y/o térmica, las cuales pueden ser de tal magnitud, capaces de generar tensiones que resulten superiores a la resistencia a tracción del hormigón, con la consecuente fisuración del elemento estructural, lo anterior puede afectar la durabilidad y las condiciones de servicio de la obra de construcción y se traduce en significativos gastos de reparación.

Predecir con una cierta probabilidad el comportamiento de la estructura en relación a la aparición de fisuras, su espaciamiento, ancho y número, como consecuencia de la retracción hidráulica, puede resultar de gran ayuda para los profesionales del área.

En la actualidad existen varios métodos para poder lograr este objetivo, pero todos ellos con un grado de complejidad no menor.

En este artículo se presenta una metodología sencilla y práctica para evaluar el riesgo de fisuración, que consiste en un conjunto de

ábacos que permiten cuantificar ancho, distanciamiento y número de fisuras en losas de hormigón armado. Junto a lo anterior, los ábacos permiten determinar la cuantía de acero para el control de la fisuración, es decir, garantizar con un determinado nivel de confianza, que el ancho de las fisuras esté por debajo de un valor considerado como admisible.

La metodología presentada y la construcción de los ábacos se basa en el estudio teórico desarrollado por los profesores Ricardo Giani y Benjamín Navarrete, académicos de la Escuela de Construcción Civil de la Pontificia Universidad Católica de Chile, quienes identificaron las distintas variables que intervienen en el proceso de fisuración de losas de hormigón y construyeron un modelo analítico que, considerando ciertas hipótesis, permite evaluar el riesgo de fisuración.

El modelo Gianni/Navarrete se fundamenta en el método CEB, pero presenta diferencias significativas, las cuales se tratan en el presente artículo.

En una segunda etapa se espera validar el modelo con estudios empíricos, estudiando obras construidas, con problemas de fisuración, de modo de contrastar dichos resultados con los que entrega la metodología propuesta.

Palabras clave: Hormigón, retracción hidráulica, fisuración.

Abstract

Reinforced concrete structures are subjected to stress states produced by both external and internal actions. Among the former we can mention the operating loads and others such as those produced by earthquakes or environmental actions, such as wind or snow. Between the internal actions may be mentioned those produced by drying shrinkage and / or heat, which may be of such size, capable of generating voltages that are higher than the tensile strength of the concrete, with consequent cracking of the structural element, the above can affect the durability and service conditions of the construction site and result in significant repair costs.

Predict with a certain probability the behavior of the structure in relation to the appearance of cracks, spacing, width and number, as a result of drying shrinkage, can be helpful for practitioners.

Currently there are several methods to achieve this goal, but all with a lower degree of complexity.

This article presents a simple and practical methodology for assessing the risk of cracking,

which consists of a set of abacuses to quantify width, spacing and number of cracks in reinforced concrete slabs. Alongside this, the abacus allowing the amount of steel for crack control, namely to ensure a given level of confidence that the crack width is below a value considered as acceptable.

The methodology presented and the construction of the abaci are based on the theoretical study conducted by Professors Ricardo Giani and Benjamin Navarrete, academics from the School of Civil Engineering at Pontificia Universidad Católica de Chile, who identified the different variables involved in the process of cracking of concrete slabs and built an analytical model that, given certain assumptions, to assess the risk of cracking.

The model Gianni / Navarrete method is based on the CEB, but significant differences, which are discussed in this article.

In a second phase is expected to validate the model with empirical studies, studying works constructed, with problems of cracking, so to contrast these results with those delivering the proposed methodology.

Key words: Concrete, drying shrinkage, cracking

Glosario de términos

f_c	= Resistencia a la compresión.
E_c	= Módulo de elasticidad del hormigón.
$R_{h\infty}$	= Retracción Hidráulica última en el hormigón m/m.
HR	= Humedad relativa del ambiente de exposición, en %.
W	= Dosis de agua empleada en la fabricación del hormigón, en kg/m ³ .
V/S	= Razón Volumen/Superficie expuesta, en milímetros.
$R_h(t-t_0)$	= Retracción Al tiempo t de exposición m/m.
t_0	= Edad del hormigón al inicio del secado en días.
t	= Edad del hormigón en días.
ϵ_{sm}	= Deformación del acero.
ϵ_{cm}	= Deformación del hormigón.
ϵ_{cs}	= Retracción combinada libre del elemento.
f_{ctm}	= Resistencia media a tracción del hormigón.
ϕ_s	= Diámetro o diámetro medio si hay barras de distinto diámetro (mm).
ρ	= Cuantía de la armadura de tracción referida al área eficaz de hormigón traccionado.
τ_b	= Adherencia entre el hormigón y el acero que está definida principalmente por el espaciamiento entre barras.
L	= Longitud del tirante
N	= Número de fisuras
K_r	= Grado de restricción inicial
K_{rN}	= Grado de restricción después de haberse formado la enésima fisura
W_n	= Ancho nominal de la fisura, sin considerar el efecto del momento de excentricidad.
W_m	= Ancho medio máximo de la fisura, sin considerar el efecto del momento de excentricidad.
W_{NA}	= Ancho de la fisura a nivel de armaduras.
W_{NI}	= Ancho de la fisura a nivel de la fibra extrema inferior de la losa.
W_{NS}	= Ancho de la fisura a nivel de la fibra extrema superior de la losa.
S_r	= Rigidez del resto de la estructura.
S_m	= Rigidez del elemento considerado.
A_n	= Área neta de la sección del elemento
I_n	= Inercia neta de la sección del elemento considerado
h	= Altura o espesor del elemento

1. Introducción

La retracción hidráulica se puede manifestar en la aparición de fisuras o grietas en el elemento de hormigón, cuando las tensiones que se generan producto de la misma superan a la resistencia a tracción que presenta el hormigón. La retracción se produce desde el momento en que el hormigón se deja de curar y se expone al ambiente y corresponde a una disminución volumétrica producto de la fuerza de atracción que aparecen en los poros y capilares producto de la pérdida de agua.

Las losas son uno de los elementos que se ven más afectados por la retracción hidráulica y por lo tanto presentan un mayor riesgo a presentar fisuras, esto principalmente por la elevada relación superficie/volumen y los elevados grados de restricción que presentan.

Junto a la retracción hidráulica, las variables que intervienen en el riesgo de fisuración son la resistencia a tracción y el módulo de elasticidad del hormigón, además del nivel de restricción.

Considerando como fuente el código de diseño de hormigón armado, la resistencia a la tracción del hormigón queda definida matemáticamente según la siguiente expresión:

$$f_{ct} = 2 \cdot \sqrt{f_c} \text{ kg/cm}^2 \text{ Según sección 9.5.2.3 [ACI318 (2002)]}$$

Al igual que para la resistencia a tracción, si se adoptan las consideraciones del código de diseño de hormigón la expresión que define el módulo de elasticidad es la siguiente:

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f_c} \text{ MPa Según sección 8.5.1 [ACI318 (2002)]}$$

En relación con el grado de restricción, una losa confinada por muros en todos sus bordes presentará una fuerte coacción, por lo tanto la posibilidad de que esta se fissure es mayor a que si está simplemente apoyada en el piso y con completa libertad de deformarse. Un punto importante a considerar es la evolución que presenta el grado de restricción, a medida que la losa se fisura. Lo anterior se debe a que luego de cada fisura se produce un relevo de tensiones y parte de la deformación impedida se libera, por lo tanto el valor de K_r se modifica, disminuyendo su valor.

1.1. Antecedentes Generales

Modelos de predicción de la retracción hidráulica

Para la predicción de las variaciones dimensionales de las diferentes estructuras de hormigón por acciones reológicas se utilizan modelos empíricos. Estos modelos básicamente estiman la retracción hidráulica del hormigón mediante, por una parte una función que estima la curva de evolución, y por otra, de una función que predice la retracción última.

Estudios realizados en Chile [Masana, C.E. (2001)] demuestran que el modelo que más se ajusta a la realidad de los hormigones fabricados en el país es el propuesto por Sakata [Sakata (1993)].

1.2. Modelo Sakata

El modelo desarrollado fue propuesto en 1993 por el japonés Sakata. Está basado en la teoría de difusión del agua contenida en el núcleo hacia la superficie expuesta del hormigón. Los parámetros que considera el modelo son: humedad relativa, cantidad de agua utilizada y razón volumen de hormigón/ superficie de hormigón.

La ecuación que determina la retracción hidráulica a tiempo infinito, es la siguiente:

$$Rh_{\infty} = \left[-50 + 78 \left(1 - \exp\left(\frac{HR}{100}\right) \right) + 38 \ln(W) - 5 \left[\ln\left(\frac{V/S}{10}\right) \right]^2 \right] \times 10^{-5} \quad [1]$$

Para determinar la retracción hidráulica, que se ha producido en un tiempo determinado se aplica la siguiente ecuación:

$$Rh_{(t, t_0)} = Rh_{\infty} \left\{ 1 - \exp\left(-0,108 (t - t_0)^{0,56}\right) \right\} \quad [2]$$

2. Modelos para determinar el grado de restricción

Conceptualmente el grado de restricción puede definirse como porcentaje, expresado como el cociente de la deformación impedida y la deformación libre que experimentaría un elemento libre de restricción.

$$K_r = \frac{\text{Deformación..impedida}}{\text{Deformación..libre}} \cdot 100 \quad [3]$$

Existen principalmente dos modelos para cuantificar K_r :

$$\text{CEB [Geho (1996)]}: K_r = \frac{S_r}{S_r + S_m} \quad [4]$$

$$\text{ACI [ACI224R-01 (2001)]}: K_r = \frac{1}{1 + \frac{A}{4L} \cdot \frac{h^3}{I_S}} \quad [5]$$

Si bien conceptualmente representan el nivel de retracción hidráulica, su aplicación resulta compleja debido a la dificultad para determinar con precisión las variables de entrada.

Debido a lo anterior, los métodos que incorporan el análisis con elementos finitos resultan ser una herramienta adecuada para resolver esta problemática.

3. Método Giani y Navarrete

El método está basado en la metodología propuesta por el Código CEB.

Sin embargo, se debe hacer un alcance en una diferencia fundamental, la cual se explica a través del apoyo de la figura N° 1.

Al observar la gráfica propuesta por el método CEB se aprecia que en el punto donde se genera la fisura existe un aumento de la deformación producida en el acero (ϵ_s), la cual resulta ser máxima, y una nula deformación en el hormigón (ϵ_c). Estas deformaciones se igualan en la longitud ($1/2 l_{\max}$). Si la deformación en el hormigón f nula, significa que tiene totalmente impedida su deformación, por lo que su tensión debería ser máxima. Sin embargo, se sabe que la tensión en el hormigón a nivel de la fisura debe ser cero.

El método propuesto por los profesores Giani/Navarrete, por el contrario, asigna un grado de deformación al hormigón a nivel de la fisura, allí no existe restricción a la deformación del hormigón, por lo tanto la deformación impedida es cero y consecuentemente la tensión es nula.

Lo anterior es recogido en las expresiones de cálculo propuestas.

3.1. Ancho nominal de fisuras (W_n)

Queda definido como el alargamiento diferencial del acero y el hormigón en la zona de transferencia de tensiones.

$$W_n = l_{\max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) \quad [6]$$

3.2. Distancia de las fisuras producidas (l_{\max})

Para el cálculo de l_{\max} se utiliza la expresión propuesta por el Código CEB, siendo esta la siguiente:

$$l_{\max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{f_{ctm} \cdot \phi_{\text{acero}}}{\tau_b \cdot \rho} \quad [7]$$

3.3. Ancho medio nominal máximo de la fisura (W_m)

Para la determinación del ancho de la fisura se debe establecer si la losa en estudio se encuentra en fase estabilizada o no estabilizada.

- Ancho medio nominal máximo en fase estabilizada**

Se puede establecer que la fisuración de una losa estará en fase estabilizada cuando se han formado todas las fisuras posibles, es decir $\frac{f_{ctm}}{E_c(t, t_0)}$. En este caso, la deformación remanente resulta mayor a $N = \frac{L}{l_{\max}}$. Para

esta condición el espesor de la fisura queda determinado por la siguiente expresión:

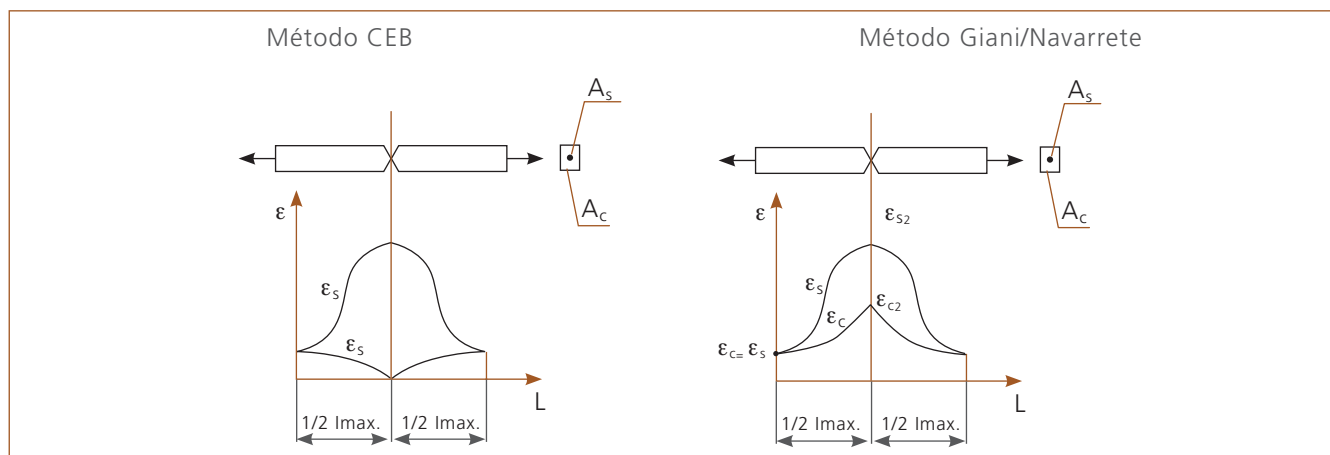
$$W_m = \frac{L}{N} \cdot (k_r \cdot \epsilon_{cs} - \frac{f_{ctm}}{E_c(t, t_0)}) \quad [8]$$

- Ancho medio nominal máximo en fase no estabilizada**

Para la determinación del ancho de fisura en fase no estabilizada, es decir, cuando existe la posibilidad que en el elemento se formen nuevas fisuras, se utiliza el procedimiento propuesto por el comité ACI 207.2R-90, donde:

$$W_m = \frac{L}{N} \cdot (K_r - K_{rN}) \cdot \epsilon_{cs} \quad [9]$$

Figura N°1. Distribución de deformaciones en la zona de transición acero-hormigón



4. Ábacos propuestos

Considerando como base el método propuesto por los profesores Giani/Navarrete se han elaborado una serie de ábacos, los cuales tienen como objetivo ser una herramienta que permita de forma gráfica, práctica y sencilla, evaluar el riesgo de fisuración en losas de hormigón armado.

4.1. Ábacos para determinar la retracción hidráulica

Para la determinación de la retracción hidráulica se ha considerado como base el modelo propuesto por Sakata.

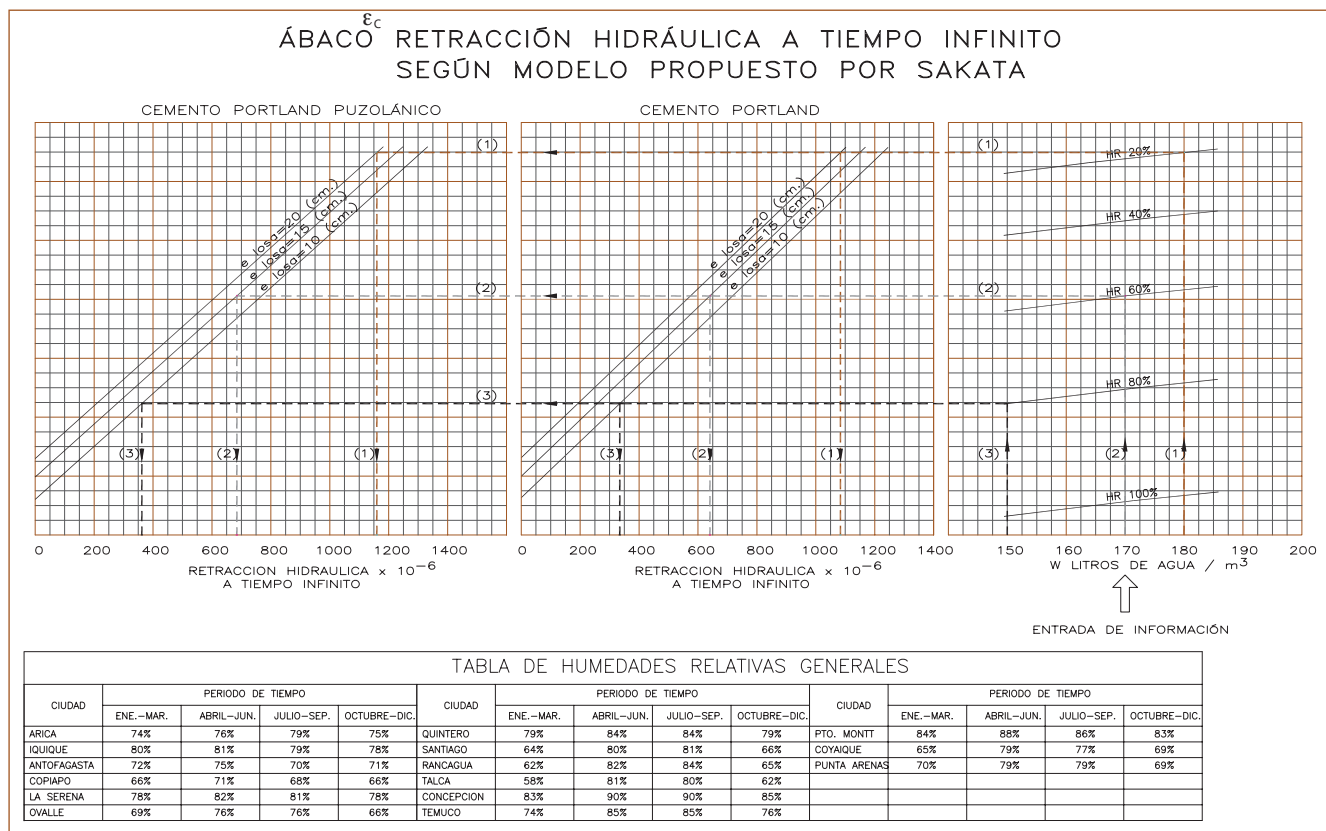
El ábaco N° 1 permite determinar la retracción hidráulica a tiempo infinito que se moviliza en una losa. La

entrada es a través de la cantidad de agua en litros/m³, se intersecta con la recta que representa la humedad relativa del lugar de la construcción, para posteriormente ir al lado izquierdo, donde se encuentran dos zonas delimitadas considerando cementos portland y portland puzolánico. Luego tres líneas que representan tres espesores de losas de 10, 15 y 20 cm, se va hacia la abscisa que entrega la retracción hidráulica a tiempo infinito.

Para la determinación de la retracción hidráulica a un determinado periodo de tiempo se elaboraron dos ábacos. Uno para la utilización de cementos portland y otro para cementos portland puzolánicos.

En los ábacos N° 2 y 3, el modo de operar es similar al descrito para el ábaco a tiempo infinito, con la única diferencia que se tiene que definir un tiempo específico para el cual se requiere determinar la retracción producida.

Ábaco N° 1. Retracción hidráulica a tiempo infinito



Ábaco N° 2. Retracción hidráulica a tiempo t , Cemento Portland

ÁBACO DESARROLLO RETRACCIÓN HIDRÁULICA EN EL TIEMPO PARA CEMENTO PORTLAND SEGÚN MODELO DE SAKATA

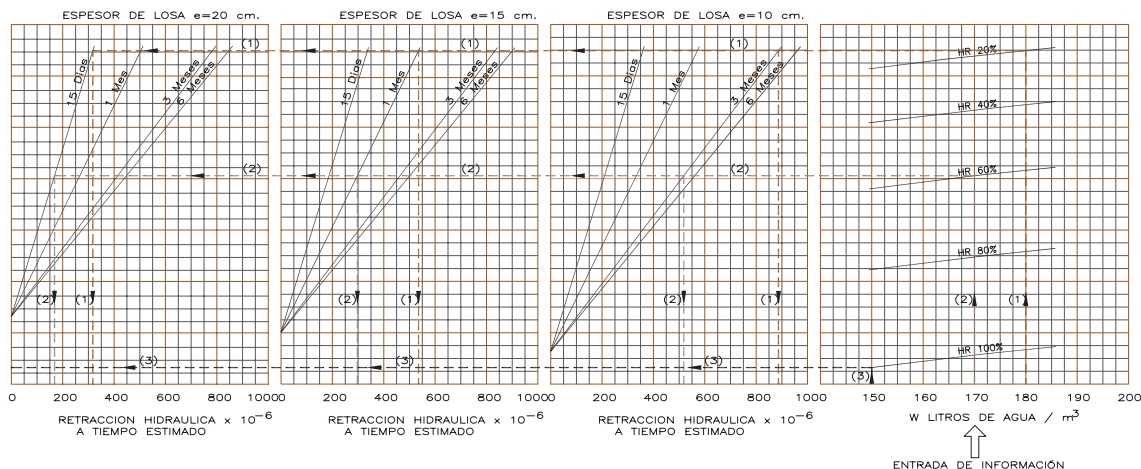


TABLA DE HUMEDADES RELATIVAS GENERALES

CIUDAD	PERIODO DE TIEMPO				CIUDAD	PERIODO DE TIEMPO				CIUDAD	PERIODO DE TIEMPO			
	ENE.-MAR.	ABRIL-JUN.	JULIO-SEP.	OCTUBRE-DIC.		ENE.-MAR.	ABRIL-JUN.	JULIO-SEP.	OCTUBRE-DIC.		ENE.-MAR.	ABRIL-JUN.	JULIO-SEP.	OCTUBRE-DIC.
ARICA	74%	76%	79%	75%	QUINTERO	79%	84%	84%	79%	PTO. MONTT	84%	88%	86%	83%
IQUIQUE	80%	81%	79%	78%	SANTIAGO	64%	80%	81%	66%	COYAIQUE	65%	79%	77%	69%
ANTOFAGASTA	72%	75%	70%	71%	RANCAGUA	62%	82%	84%	65%	PUNTA ARENAS	70%	79%	79%	69%
COPIAPO	66%	71%	68%	66%	TALCA	58%	81%	80%	62%					
LA SERENA	78%	82%	81%	78%	CONCEPCION	83%	90%	90%	85%					
OVALLE	69%	76%	76%	66%	TEMUCO	74%	85%	85%	76%					

Ábaco N° 3. Retracción hidráulica a tiempo t , Cemento Portland Puzolánico

ÁBACO DESARROLLO RETRACCIÓN HIDRÁULICA EN EL TIEMPO PARA CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO SEGÚN MODELO DE SAKATA

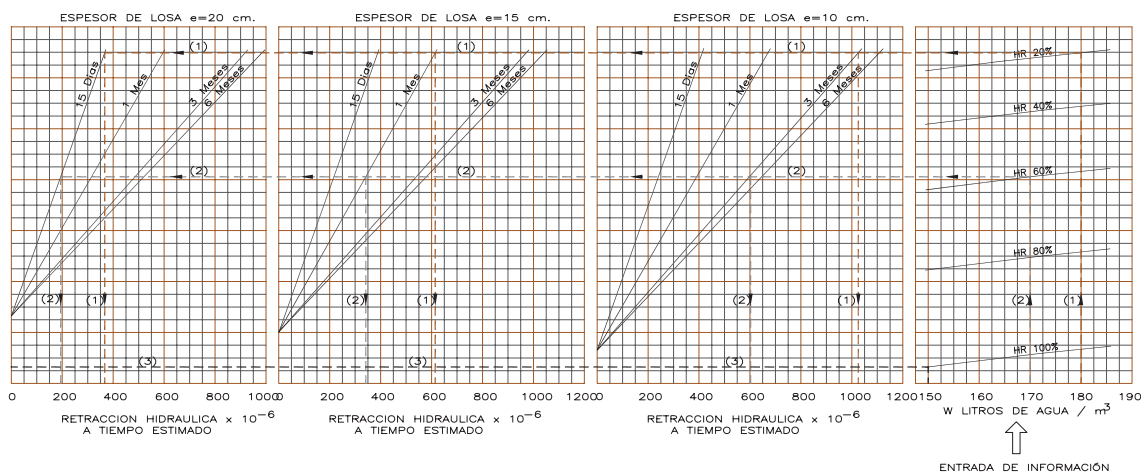


TABLA DE HUMEDADES RELATIVAS GENERALES

CIUDAD	PERIODO DE TIEMPO				CIUDAD	PERIODO DE TIEMPO				CIUDAD	PERIODO DE TIEMPO			
	ENE.-MAR.	ABRIL-JUN.	JULIO-SEP.	OCTUBRE-DIC.		ENE.-MAR.	ABRIL-JUN.	JULIO-SEP.	OCTUBRE-DIC.		ENE.-MAR.	ABRIL-JUN.	JULIO-SEP.	OCTUBRE-DIC.
ARICA	74%	76%	79%	75%	QUINTERO	79%	84%	84%	79%	PTO. MONTT	84%	88%	86%	83%
IQUIQUE	80%	81%	79%	78%	SANTIAGO	64%	80%	81%	66%	COYAIQUE	65%	79%	77%	69%
ANTOFAGASTA	72%	75%	70%	71%	RANCAGUA	62%	82%	84%	65%	PUNTA ARENAS	70%	79%	79%	69%
COPIAPO	66%	71%	68%	66%	TALCA	58%	81%	80%	62%					
LA SERENA	78%	82%	81%	78%	CONCEPCION	83%	90%	90%	85%					
OVALLE	69%	76%	76%	66%	TEMUCO	74%	85%	85%	76%					

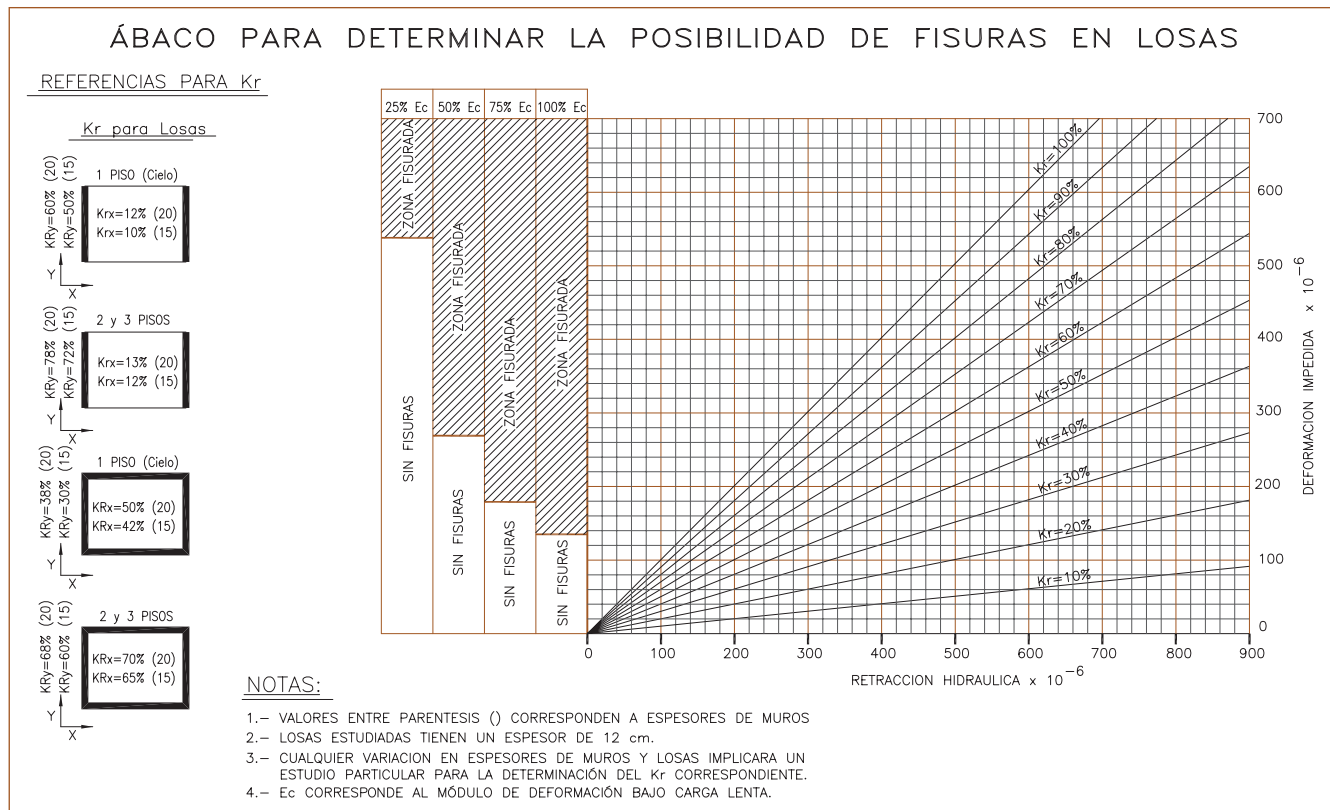
4.2. Ábaco para determinar la posibilidad de aparición de fisura en losas

El ábaco N° 4 tiene por finalidad determinar si aparecerán fisuras en la losa, considerando variables tales como la retracción hidráulica esperada, el grado de coacción de la losa respecto al resto de la estructura y finalmente el porcentaje esperable de desarrollo del módulo de deformación.

Al ábaco se entra a considerando la retracción hidráulica esperada, se intersecta con la recta que representa

el grado de coacción, K_r , de 10% a un 100%, luego se determina la deformación impedida, la cual se lee en la ordenada de la derecha. Para la determinación de la posibilidad de aparición de fisuras, nos desplazamos hacia las columnas de la izquierda que representan los porcentajes de desarrollo del módulo de deformación del hormigón, de 25% a un 100%. Si la intersección de la deformación impedida con el porcentaje adoptado para E_c cae en zona achurada, existe riesgo de fisuración.

Ábaco N° 4. Para determinar la posibilidad de fisura en losas

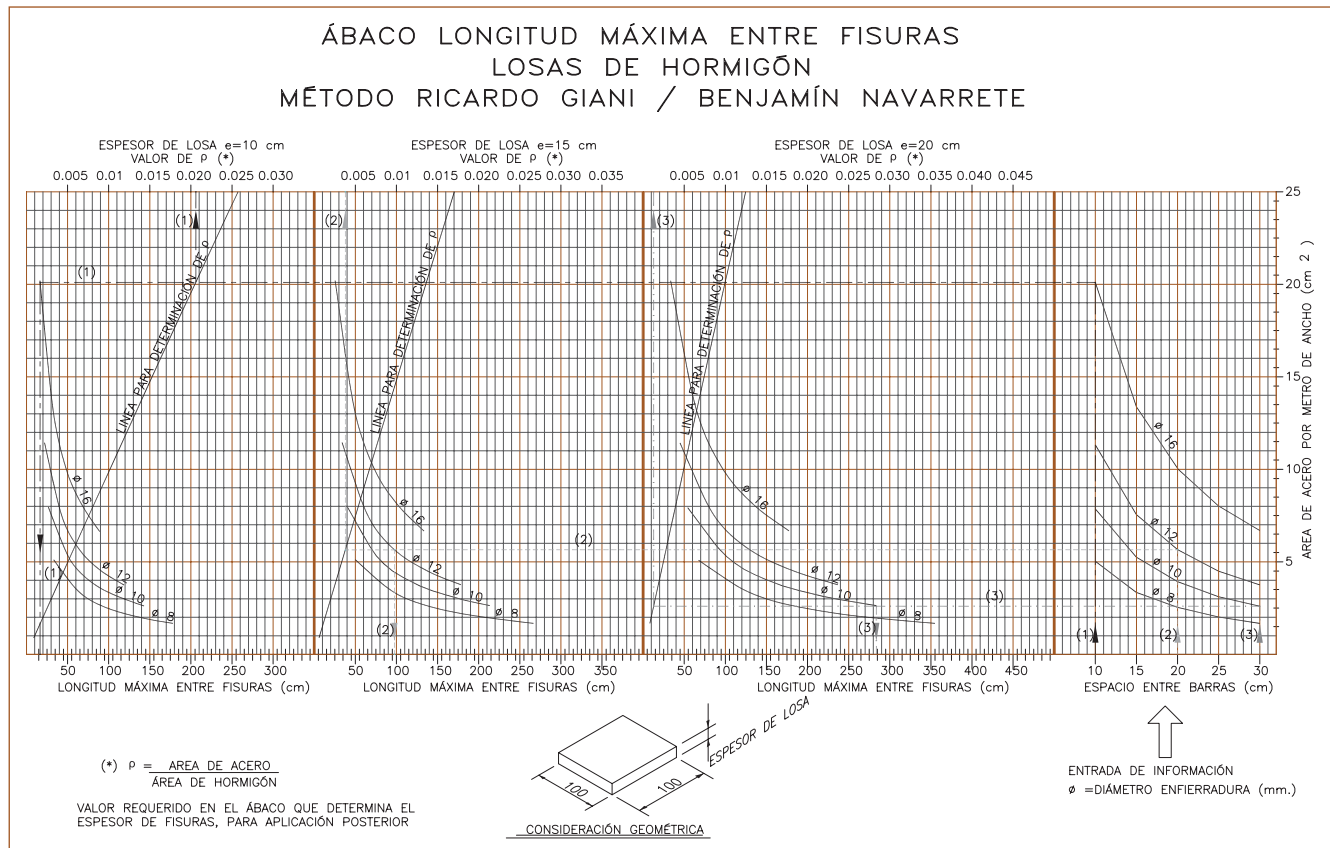


4.3. Ábaco distancia máxima entre fisuras

El ábaco N° 5 permite determinar la distancia máxima entre fisuras, junto con entregar información referida a la cuantía de acero colocada. Se ingresa con el espaciamiento entre las barras de acero (cm), se intersecta con la curva que representa diferentes diámetros de barras, desde 8 mm a 16 mm, se lee en la ordenada de la derecha el área de acero en un metro de ancho

de losa. Al desplazarse hacia la izquierda existen 3 zonas delimitadas para 3 espesores de losa, 10, 15 y 20 cm, cada uno de estos cuadrantes contienen 4 curvas que representan los diámetros de las barras y una recta que permite inferir la cuantía de acero. La longitud máxima se lee en la abscisa de la parte inferior y la cuantía de acero se lee en la abscisa de la parte superior. Este último valor es necesario para la entrada de ábacos posteriores.

Ábaco N° 5. Longitud máxima entre fisuras

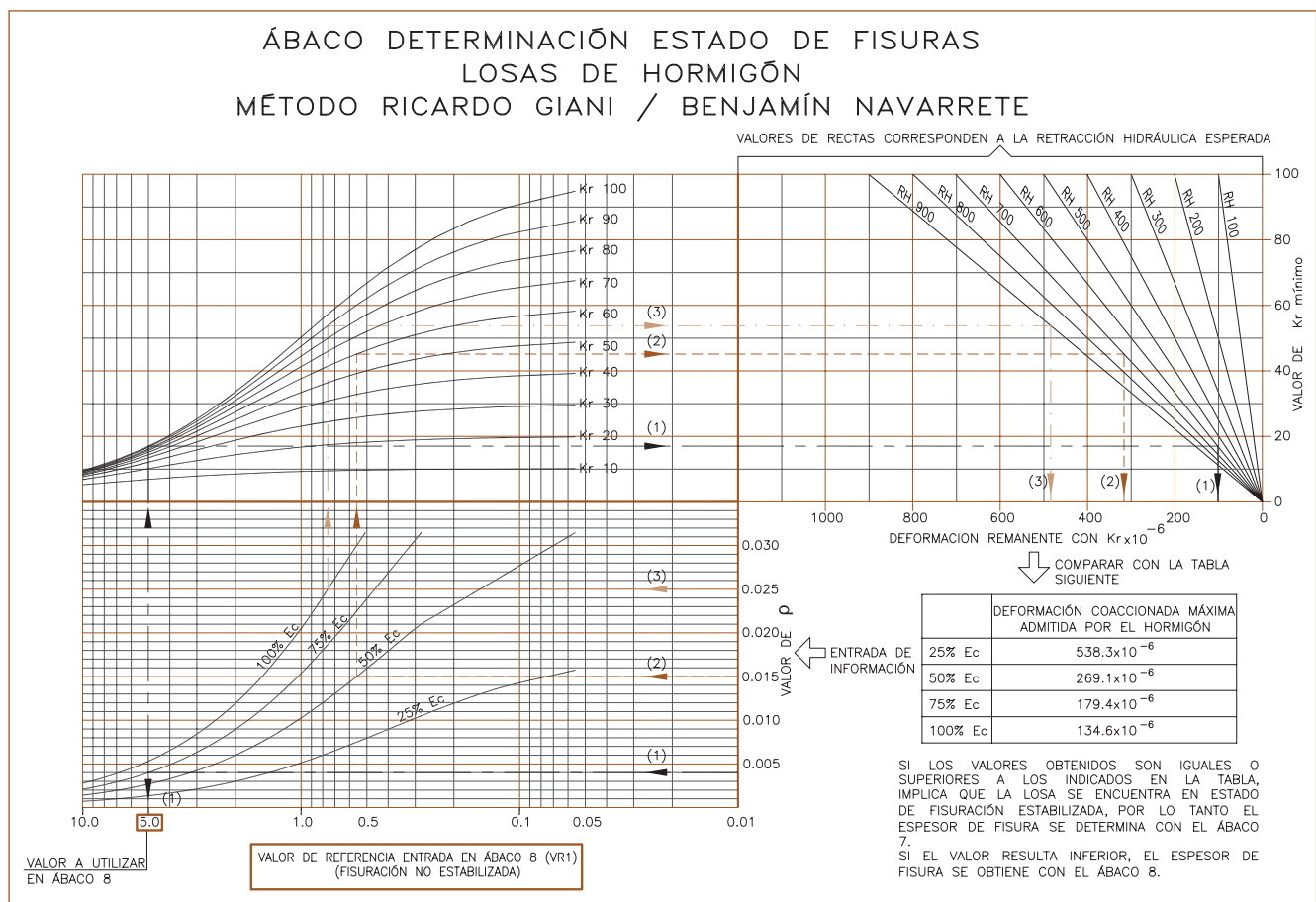


4.4. Ábaco determinación estado de fisuras

Como se mencionó anteriormente, uno de los avances más significativos del método propuesto es la identificación de la fase de fisuración, tanto estabilizada o no estabilizada en la que se puede encontrar una losa. El ábaco N° 6 tiene por finalidad establecer esta condición. La entrada es a través del valor de la cuantía de acero determinada en el ábaco anterior, se intersecta con la curva que representa el porcentaje del módulo de deformación, luego se intersecta con la curva que representa el grado de restricción, de 10% a 100%, se

va hacia el cuadrante del lado derecho y se intersecta con el valor de retracción hidráulica. Con este valor se puede leer en las ordenadas el valor de K_r mínimo, mientras que en la abscisa se lee la deformación remanente, con este último valor se compara en la tabla indicada. Un valor igual o superior al indicado en la tabla permitirá determinar que la losa se encuentra o no en un estado de fisuración estabilizada. Con esta información es posible determinar, con el apoyo de los ábacos 7 y 8, el ancho de fisuras para cualquiera de las dos condiciones que se presente.

Ábaco N° 6. Determinación estado de fisuras

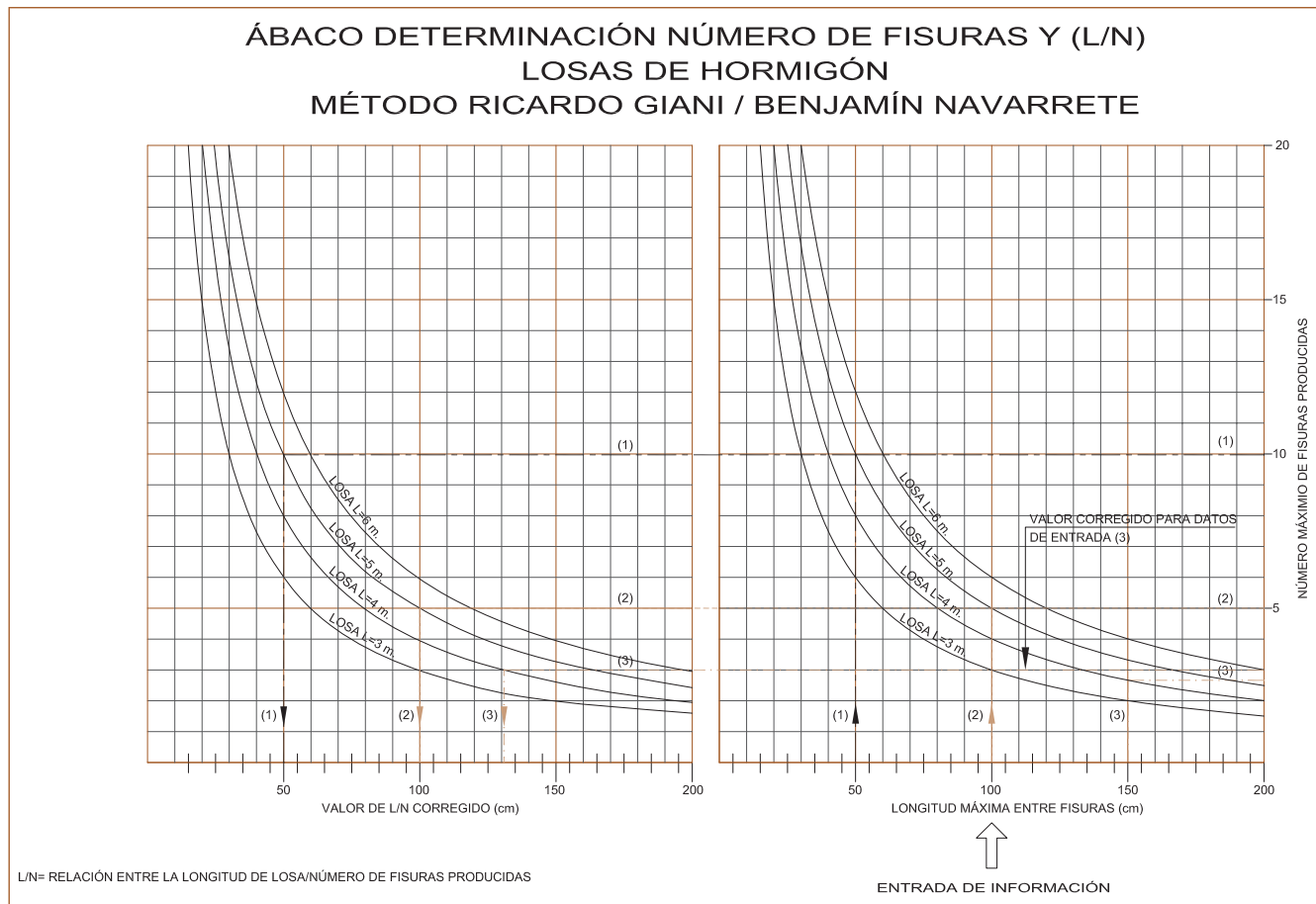


4.5. Ábaco para la determinación del espesor medio máximo de fisuras en fase estabilizada

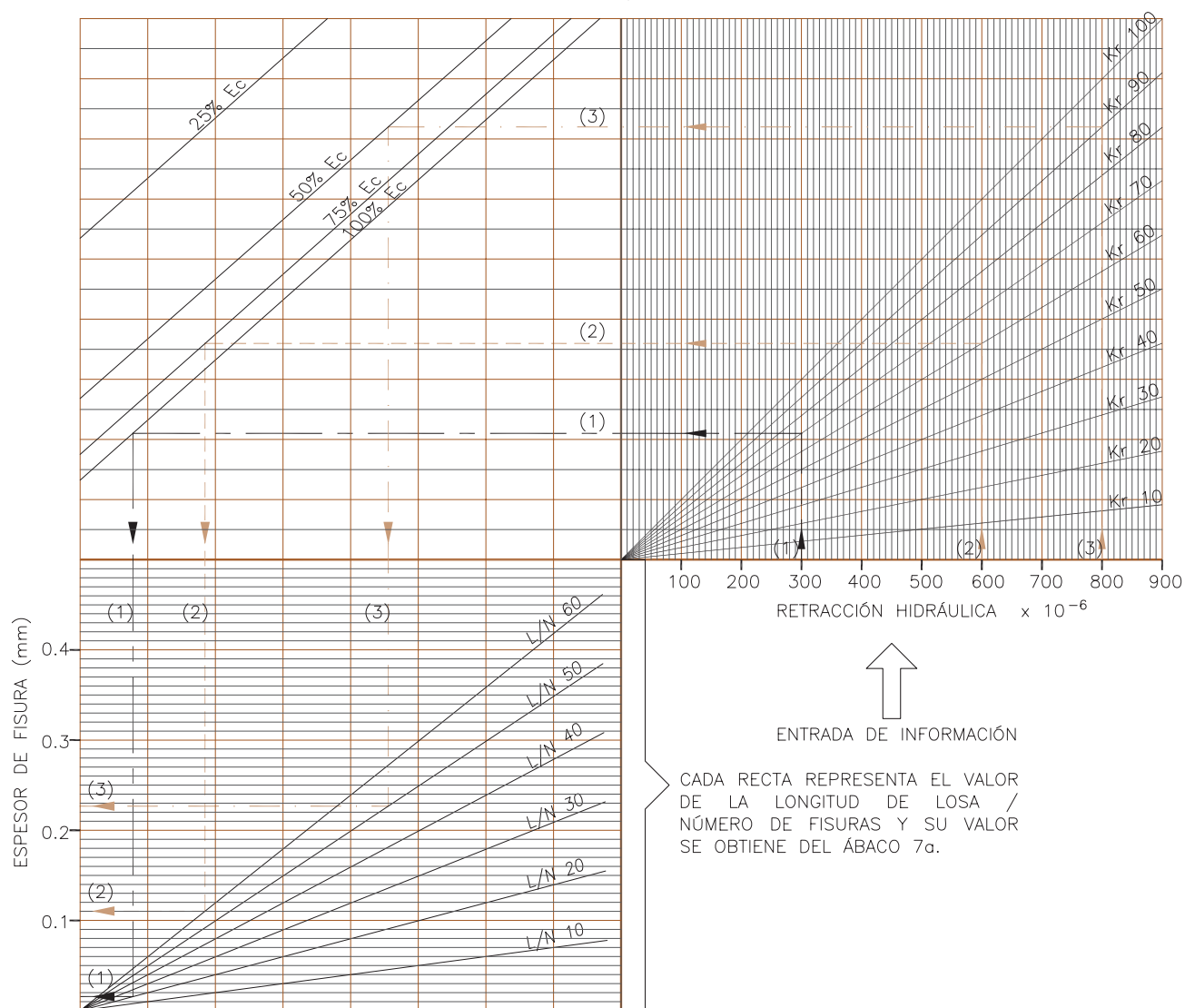
El ábaco 7-a permite corregir L/N cuando el número de fisuras no es un entero. El ábaco N° 7-b permite determinar el ancho de fisura en fase estabilizada. La entrada es en el cuadrante del lado derecho, a través de la retracción hidráulica esperada, se intersecta con

la recta que representa el grado de restricción, se va hacia la izquierda al cuadrante donde se intersecta con la recta que representa los porcentajes del módulo de deformación, se avanza hasta el cuadrante inferior donde se intersecta con la recta que representan el valor de L/N corregido, según ábaco N° 7-a. L/N sin corrección, se determina manualmente una vez conocido el largo máximo entre fisuras. El valor del ancho de fisura se lee en la ordenada del lado izquierdo.

Ábaco N° 7-a. Determinación N° de fisuras y (L/N) corregido



ÁBACO DETERMINACIÓN ESPESOR FISURA
FASE ESTABILIZADA
LOSAS DE HORMIGÓN
MÉTODO RICARDO GIANI / BENJAMÍN NAVARRETE

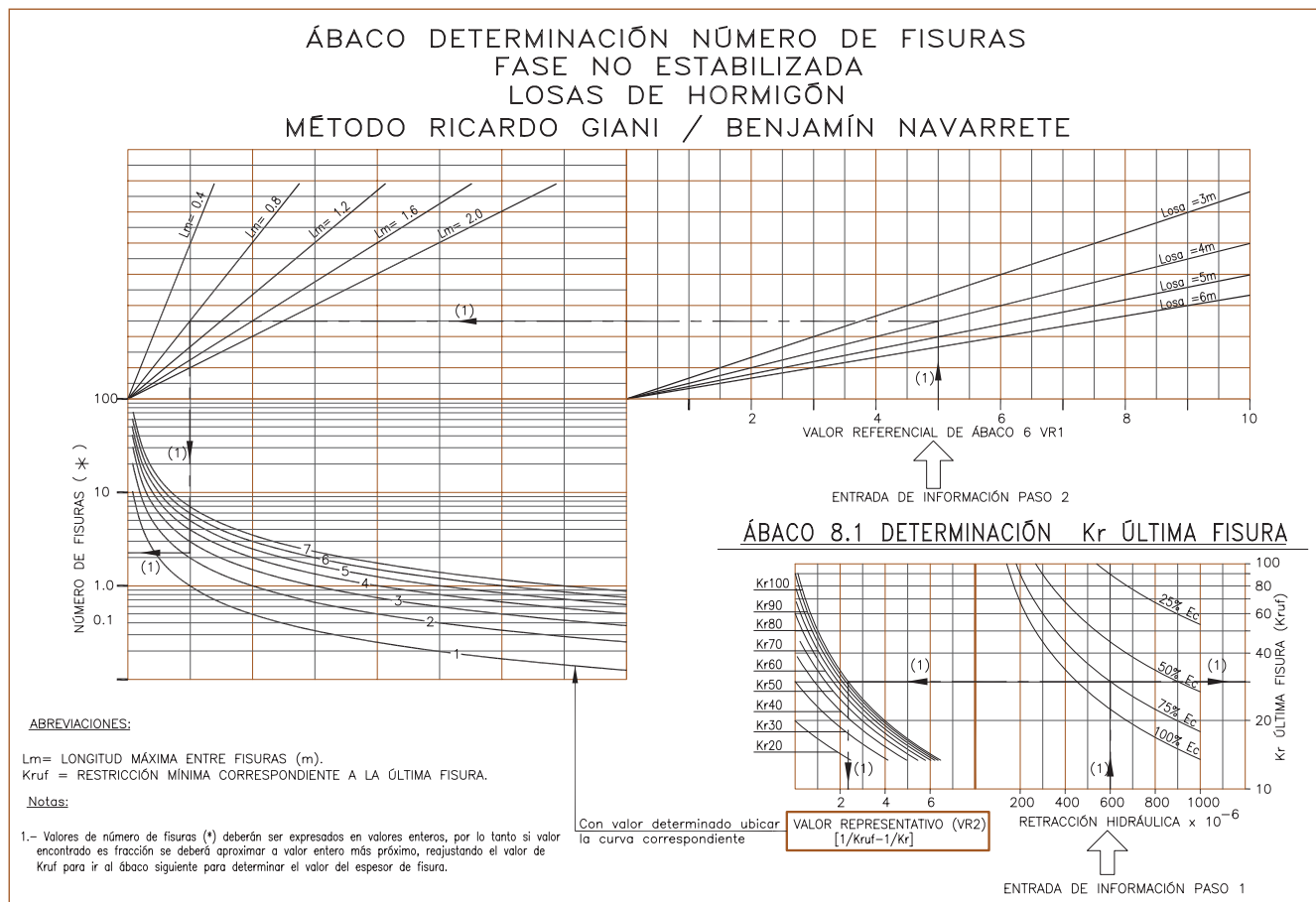


4.6. Ábaco N° 8 determinación del número de fisuras fase no estabilizada

El ábaco N° 8 permite determinar el número de fisuras producidas en el momento que el proceso de fisuración se detiene. Para ello, el paso 1 contempla ingresar en el ábaco derecho inferior, para una retracción hidráulica dada, e intersectar con la curva de la longitud máxima entre fisuras (determinada en el ábaco N° 5). Bajar e intersectar con la curva asociada a VR2 (valor determinado en paso 1), en la ordenada obtener el valor del número de fisuras en fase no estabilizada.

intersectar con la curva de Kr, para finalmente en la abscisa obtener el valor auxiliar VR2. El paso 2 contempla ingresar con el valor auxiliar VR1 (determinado en el ábaco N° 6), intersectar con el largo o ancho de la losa, desplazarse hacia la izquierda e intersectar con la curva de la longitud máxima entre fisuras (determinada en el ábaco N° 5). Bajar e intersectar con la curva asociada a VR2 (valor determinado en paso 1), en la ordenada obtener el valor del número de fisuras en fase no estabilizada.

Ábaco N° 8. Determinación del número de fisuras fase no estabilizada

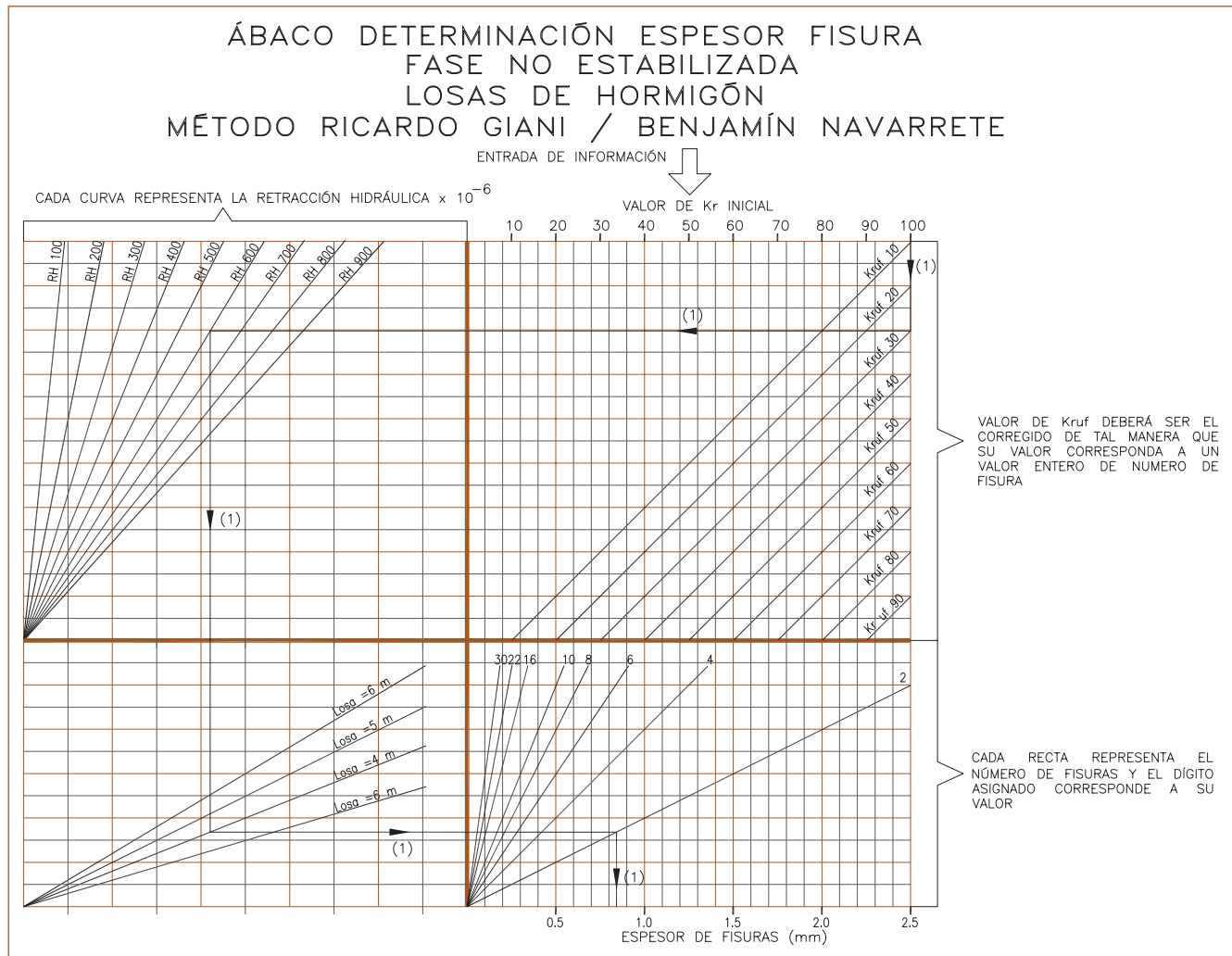


4.7. Ábaco para determinar espesor medio máximo de fisura en fase no estabilizada

Para determinar el valor del espesor de fisura se debe ingresar en el ábaco N° 9 por el sector derecho superior, con el valor inicial de K_r , el cual se intersecta con la recta que representa el valor de K_r de la última fisura (determinado en ábaco N° 8). Al desplazarse al

cuadrante del lado izquierdo intersectar con la recta que corresponde a la retracción hidráulica. Al bajar intersectar con la recta que representa la longitud de la losa, para finalmente, en el cuadrante inferior derecho intersectar con la recta que corresponde al número de fisuras producidas (determinado en el ábaco N° 8). Con esto se lee en la abscisa el ancho de fisura en fase no estabilizada.

Ábaco N° 9. Determinación espesor medio máximo de fisura en fase no estabilizada

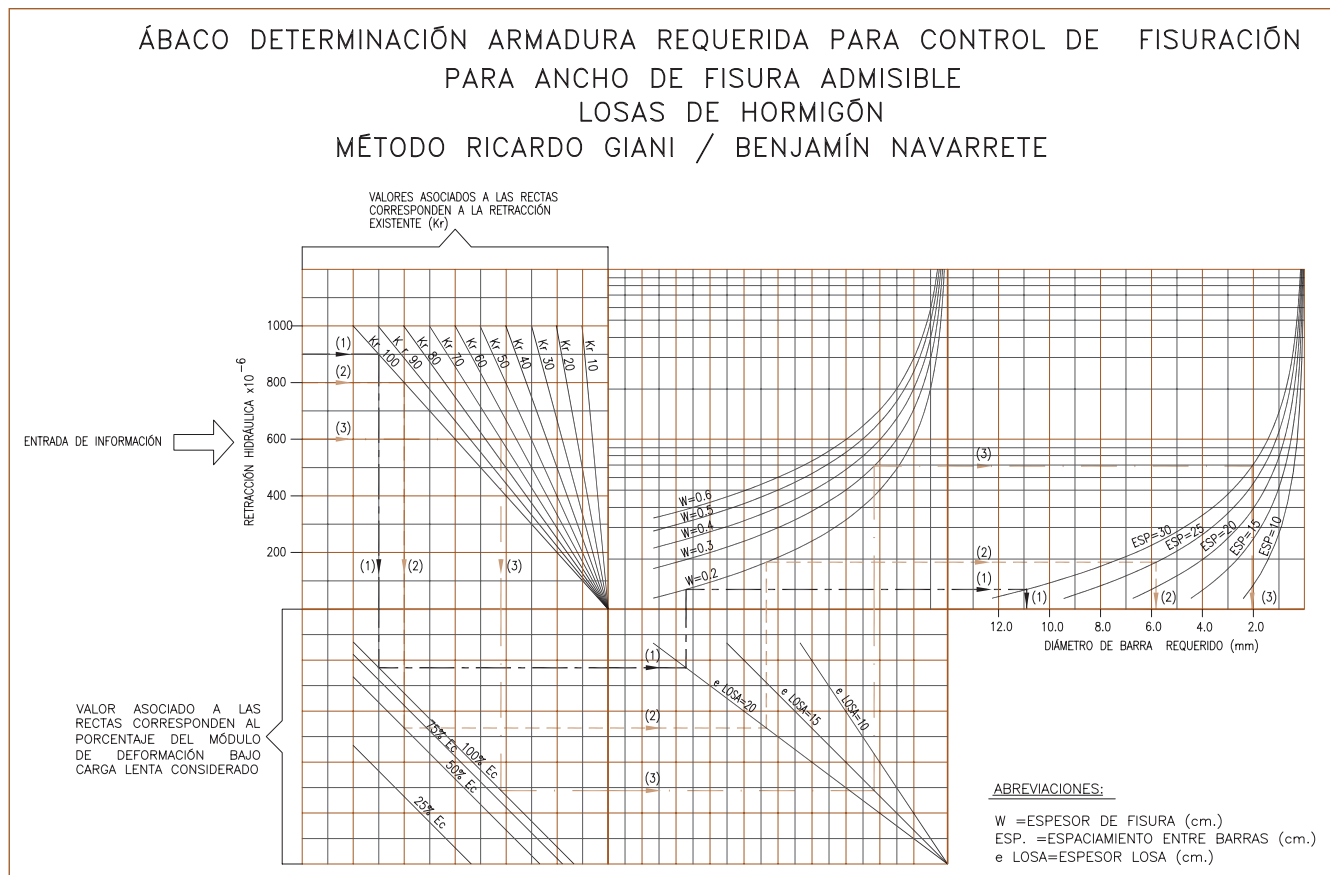


4.8. Ábaco determinación armadura requerida para el control de la fisuración para ancho de fisura admisible

El ábaco N° 10 permite determinar la armadura mínima requerida para el control de la fisuración para ancho de fisuras admisibles. La entrada es a través de la retracción hidráulica esperada, cuadrante izquierdo superior, se intersecta con la recta que representa el grado de restricción (K_r), al bajar al siguiente cuadrante

interseccionar con la recta que representa el porcentaje del módulo de deformación. En el siguiente cuadrante, lado derecho, se intersecciona con la recta que representa el espesor de la losa. Al subir al siguiente cuadrante interseccionar con la curva que representa el espesor de fisura admisible. Finalmente, en el cuadrante del lado derecho interseccionar con la curva que representa el espaciamiento entre barras. Con esto se lee en la abscisa el valor correspondiente al diámetro de la barra requerido.

Ábaco N° 10. Determinación armadura requerida para el control de la fisuración para ancho de fisura admisible



4.9. Consideración sobre la disposición de la armadura

Es importante mencionar que los valores entregados por los ábacos corresponden al caso de utilización de armadura simétrica, sin considerar el efecto restrictivo de las enfierraduras a medida que el elemento se va fisurando. Lo anterior implica, que para este caso, el ancho medio máximo de la fisura debe ser corregido según:

$$w_c = \frac{w_m}{1 + \rho \cdot n} \quad [11]$$

Para aquellos casos en que la armadura no es simétrica es decir, en una de las caras del elemento no se disponen barras de acero, se debe corregir el espesor de fisuras, debido a que la excentricidad da origen a un momento, que modifica el espesor de fisuras en las dos caras del elemento. Lo anterior obliga a corregir el ancho de las fisuras según:

- **A nivel de armaduras**

$$W_{NA} = \frac{W_m}{1 + A_s \cdot n \cdot \left(\frac{1}{A_n} + \frac{Z^2}{I_n} \right)} \quad [12]$$

- **En el borde inferior de la losa**

$$W_{NI} = W_m - A_s \cdot W_{NA} \cdot n \cdot \left(\frac{1}{A_n} + \frac{z \cdot (h - x_n)}{I_n} \right) \quad [13]$$

- **En el borde superior de la losa**

$$W_{NS} = W_m - A_s \cdot W_{NA} \cdot n \cdot \left(\frac{1}{A_n} + \frac{z \cdot x_n}{I_n} \right) \quad [14]$$

5. Consideraciones finales

Debido a la complejidad de las variables que intervienen en el riesgo de fisuración y su nivel de conocimiento, el método teórico presentado debe considerarse como un método simplificado, que permite tener una primera aproximación al problema. Es necesario recordar que el hormigón no es un material homogéneo, por lo tanto, sus propiedades son difíciles de predecir, en algunos casos difíciles de medir, como por ejemplo su módulo de deformación en tracción; la adherencia acero-hormigón es un fenómeno poco conocido y difícil de modelar; existe incertidumbre respecto de los niveles de restricción que impone el resto de la estructura; las condiciones medioambientales en muchos casos no son las previstas, entre otras.

De todos modos, es posible afirmar, que los ábacos desarrollados representan una herramienta básica para determinar, a modo simplificado, si una losa de hormigón presenta riesgo de fisuración y a qué nivel: un número alto o reducido de fisuras, o bien anchos de fisuras por sobre ciertos valores considerados como admisibles.

Junto a lo anterior, determinar la armadura mínima necesaria para el control del ancho de fisuras, resulta relevante de cara a minimizar o bien evitar que aparezcan en la losa fisuras con anchos excesivos, que puedan afectar la durabilidad y comportamiento en servicio de la estructura.

Para una validación y posibles ajustes de los ábacos propuestos es necesaria una comprobación en terreno, es decir, estudiar el comportamiento de losas de hormigón en distintos edificios en cuanto al momento de la aparición de las fisuras, espaciamiento y ancho. Esto es materia de una segunda etapa en el contexto de esta línea de investigación.

Debido a que los ábacos pueden resultar ilegibles en la escala de esta publicación, los interesados pueden solicitarlos en archivo digital a alguno de sus autores.

Bibliografía

Código de diseño de Hormigón Armado, basado en el ACI318-2002.

MASANA, C.E. (2001), Desarrollo de un procedimiento para la Predicción de la Retracción Hidráulica en Hormigones Fabricados Con Cementos Chilenos, Tesis para optar al Grado de Magíster en ciencias de la Ingeniería. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

SAKATA, K. (1993) Prediction of Concrete Creep and Shrinkage, Proceeding of 5th International RILEM Symposium (Concreep 5), Barcelona, España.

GEHO (1996) Estado limite de Fisuración en el Hormigón Estructural, Grupo Español del Hormigón, CEB Comisión II, diciembre, 1996.

ACI 209 (1992), Prediction of Concrete Creep, Shrinkage and Temperature Effects in concrete Structures, ACI 209 R92. ACI 224R-01 (2001) Control de Fisuración en Estructuras de Hormigón, ACI 207-2R-90 Report on Thermal and Volume Change Effects on Cracking of Mass Concrete.

ACI 207 (2011) 1R-05, Guide to mass concrete, reported by ACI committee 207.